

## 非一様プラズマ中でのヘリコン波の伝搬

# 諫山 翔伍 [1]; 羽田 亨 [1]; 谷川 隆夫 [2]; 篠原 俊二郎 [3]  
[1] 九大総理工; [2] 東海大・総科研; [3] 東京農工大・工

### Helicon wave propagation in a non-uniform plasma

# Shogo Isayama[1]; Tohru Hada[1]; Takao Tanikawa[2]; Shunjiro Shinohara[3]  
[1] ESST, Kyushu Univ; [2] RIST, Tokai Univ.; [3] Inst. Eng, TUAT

Electric thrusters, characterized with high specific impulse, are considered to be useful for long-term space missions such as those to outer planets. On the other hand, the performance of many of the conventional electric thrusters (e.g., ion engines) is limited by electrode wastage. In order to overcome this difficulty, we have initiated the HEAT (Helicon Electrode less Advanced Thruster) project, in order to pursue research and development of completely electrodeless thrusters.

Stable generation of high density and low temperature plasma using helicon waves is now established. A helicon wave in a broad sense can be defined as a cylindrical plasma version of the whistler wave, which consists of a electromagnetic wave called helicon wave (hereafter the H wave), and an almost electrostatic wave called Trivelpiece-Gould wave (hereafter, the TG wave). The frequency of these waves lie between the ion-cyclotron and the electron cyclotron frequencies. The process of helicon plasma generation involves conversion of the H wave into the TG wave, damping of the TG wave, acceleration of primary electrons by the electric field, and ionization of neutral atoms via collision with primary electrons. These processes influence each other, and thus the helicon plasma generation is an extremely complicated process as a whole.

Since the helicon plasma was first produced by Boswell in 70's, many researches have been carried out focusing on both basic and applied problems. However, the mechanism of helicon plasma generation has not been fully explained from the kinetic point of view, it still remains to be a challenging issue. The earliest research that ignores electrons inertia suggests the electron heating by both collisional and Landau dampings by the H wave. Recently, Shamrai proposed a model based on the linear mode conversion, in which the H wave is mode converted into the TG wave as they propagate in a density gradient, and the electric field of the TG mode strongly accelerates the electrons, leading to the highly efficient production of the helicon plasma.

In the presentation, we describe the characteristics of helicon wave propagation in a non-uniform plasma obtained by using PIC simulations. We set up the two-dimensional model. The H wave (the wave number in y direction is fixed) is launched from the boundary near  $x=0$ . We discuss the result on the helicon wave propagation in non-uniform plasma and the H-TG mode conversion process. In addition, we consider the dissipation (electron-neutral collisions) of the TG wave generated via the mode conversion and electron heating.

惑星探査などの長期ミッションにおいては比推力の高い電気推進機関が有効であり注目されている。これは推進剤としてプラズマを用い、これを加速することにより推進力を得る方法である。一方、イオンエンジン等、既存の多くの電気推進機関は有電極型のため、プラズマとの接触による電極摩耗による寿命の制限が大きな問題となっている。この現状を踏まえ、我々はプラズマ生成、プラズマ加速の両段階ともに無電極である、完全無電極型の新しい電気推進機関の開発研究を行っている (HEAT プロジェクト)。

プラズマ生成に関して、プラズマ中を伝搬するヘリコン波を利用し、安定に低温、高密度なプラズマを生成する技術がほぼ確立している。広い意味においてヘリコン波は、有限円柱境界をもつ「ホイッスラー波」として定義でき、その中でも電磁的な波動をヘリコン波動と呼び (以下、H波と呼ぶ)、ほぼ静電的な波動を Trivelpiece-Gould 波 (以下、TG波と呼ぶ) と呼んでいる。これらの波の励起周波数帯は  $\omega_{ci}$  (イオンサイクロトロン周波数)  $\ll \omega \ll \omega_{ce}$  (電子サイクロトロン周波数) である。ヘリコンプラズマの生成過程には、H波からTG波へのモード変換、TG波の減衰、波動電場により加速を受ける種電子、種電子による中性原子の電離過程、などの機構が含まれる。これらの機構は相互に影響を及ぼしあうため、全体としてヘリコンプラズマ生成のメカニズムは非常に複雑である。

ヘリコンプラズマ生成は70年代頃に Boswell によって発見されて以来、基礎研究から応用研究に至るまで多くの機関によって研究されてきた。しかしながら、ヘリコンプラズマ生成機構の解明については未だ統一的な説明がなされておらず、ヘリコン研究において最も重要な課題となっている。初期の頃は、電子慣性を入れない (TG波がない) 系で、H波による衝突減衰とランダウ減衰による電子加熱が考えられてきた。近年になって Shamrai らの電子慣性を考慮した線形解析によって、励起されたヘリコン波が非一様プラズマ密度中で静電波である TG モード変換し、その TG 波が高減衰する事によって高効率に電子が加熱される、というモード変換理論が提唱された。

本研究では、非一様プラズマ密度中におけるヘリコン波伝搬の PIC シミュレーションを行った。2次元モデルを考え、左方 ( $x=0$  付近) から  $y$  方向波数を固定したヘリコン波を励起する。非一様プラズマ ( $x$  方向密度勾配) 中のヘリコン波の伝搬と、H波からTG波へのモード変換過程について議論する。また、散逸 (電子-中性粒子間衝突) を加えることにより、モード変換によって生じる TG 波の減衰、電子加熱について議論する。